زاهدی نوقابی، مهدی (۱۳۹۶). ردیابی حرکات چشمی، رویکردی برای سنجش خواندن برپایه تعامل دیداری. *پژوهش‌های نظری و کاربردی در علم اطلاعات و دانش‌شناسی*، ۷ (۱)، ۳۵۲- ۳۷۵.

ردیابی حرکات چشمی، رویکردی برای سنجش خواندن برپایه تعامل دیداری

مهدی زاهدی نوقابی، دانشجوی دکترای علم اطلاعات و دانش‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، zahedi.m@stu-mail.um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۱۳

دوفصلنامه| (علمی پژوهشی)
پژوهش‌های نظری و کاربردی در علم اطلاعات و دانش شناسی

شاپا (آنلاین): ۴۱۱۲-۲۵۳۸

http://infosci.um.ac.ir

سال ۷ (شماره ۱)
بهار و تابستان ۱۳۹۶

DOI: 10.22067/55396

چکیده:

زمینه: *حجم اطلاعات دیداری قابل استفاده در پیرامون ما، بسیار زیاد و توان پردازش کل این حجم، از عهده بشر خارج است. آنچه که از طریق چشم (تخصصی‌ترین عضو در ادراک بشر) دریافت می‌کنیم دانش ما را درباره جهان خارج شکل می‌دهد. بنابراین حرکات چشمی معرف فعالیت‌های پردازشی ذهن انسان از جمله خواندن و پویش متن و تصویر است. عمده حرکات چشمی انسان شامل خیره شدن و پرش است. چشم، پیام دیداری را تا هنگام انجام یک پرش به مغز منتقل نمی‌کند. بنابراین یک پرش از هر بار اطلاعاتی که از یک خیره‌شدن به‌دست می‌آید، تشکیل می‌شود و خیره‌شدن بعدی برای مشاهده بیشتر اطلاعات در جای دیگر ضروری هستند. ردیابی چشم، روشی برای تحلیل حرکات چشم است که از طریق ابزاری به‌نام ردیاب چشمی، نوع حرکات چشم و موقعیت فضایی و زمانی آنها به‌دست می‌آید. رایج‌ترین سامانه مورد استفاده برای ردیاب چشمی، امروزه ردیاب‌های چشمی بازتاب ویدئویی قرنیه هستند. دو کاربرد پژوهشی ردیاب چشمی در طی قرن بیستم توسعه یافتند: حرکات چشمی در خواندن و حرکات چشمی در مهندسی استفاده‌پذیری برای تعامل کاربران با تولیدات.*

هدف: *این مقاله در پی آن است تا علاقه‌مندان را با روش ردیابی چشم و نیز چگونگی کار با دستگاه ردیاب چشمی در حوزه خواندن آشنا سازد.*

کاربردهای احتمالی: *از آنجا که استفاده از ردیاب چشمی تاکنون مورد توجه پژوهشگران داخلی نبوده است، آشنایی با این ابزار و انواع امکانات آن، زمینه انجام*

پژوهش‌های کاربردی را در محیط‌های مختلف مانند مطبوعات چاپی و وب مهیا می‌کند. این مقاله می‌تواند اساسی برای انجام پژوهش‌های مشابه در زبان فارسی باشد که تاکنون در این زمینه فعالیتی صورت نگرفته است.

اصالت/ارزش: *کاربرد روش ردیابی چشم در حوزه خواندن، به‌عنوان روشی مستدل و قابل اثبات، بسیار رایج است. استفاده از ردیاب چشمی در مطالعات مربوط به خواندن با سه رویکرد اساسی انجام می‌شود. در دیدگاه نخست، تمرکز بر پردازش دیداری و کنترل حسی حرکتی است؛ از این چشم‌انداز (ادراک و کنترل حرکت)، خواندن به‌عنوان تکلیفی از پردازش دیداری و کنترل حسی-حرکتی که در یک محیط دیداری کاملاً ساختار یافته رخ می‌دهد، دیده می‌شود. دیدگاه دوم، ارتباط بیشتری با علوم شناختی دارد؛ در این قسمت، خواندن به‌عنوان حوزه‌ای از پردازش اطلاعات (فرایند پیچیده گردآوری اطلاعات) بشری که مشابه با فهم یک صحنه دیداری است، در نظر گرفته می‌شود. دیدگاه سوم به‌عنوان رویکردی برجسته و پربار، از سنجه‌های حرکت چشمی برای توسعه و ارزیابی فرضیه‌های روانشناسی زبان درباره پردازش زبان نوشتاری استفاده می‌کند؛ در بیشتر پژوهش‌های این حوزه، سطح پردازش جمله نظیر عامل‌های نحوی، معنایی، عمل‌گرایانه (کاربردی) و دانش-جهان آشکار در خواندن، مورد توجه است. این مقاله، پژوهشگران حوزه خواندن را برپایه تعامل دیداری با جدیدترین روندهای مطالعات شناختی خواندن و روانشناسی زبان آشنا می‌کند.*

کلیدواژه‌ها: *خواندن، ردیابی چشم، ردیاب چشمی، حرکات چشم، روانشناسی زبان، سنجه‌های حرکات چشم، مسیر خواندن*

مقدمه

تنها حس از حواس پنج‌گانه انسان که هنگام خواندن بیشترین استفاده را دارد، بینایی است. حرکات چشم انسان، نمود حرکتی این حس است. به دیگر روی، خواندن با دیدن همره است. غیر از افرادی که به‌دلیل ناتوانی نمی‌توانند از حس بینایی استفاده کنند سایر انسان‌ها برای خواندن و درک و دریافت محتوای نوشتاری و دیداری یک متن از چشم خود استفاده می‌کنند.

این مقاله از سه بخش اساسی تشکیل شده است. بخش نخست مربوط به سامانه بینایی و حرکات چشم انسان است. در بخش دوم روش ردیابی چشم، دستگاه ردیاب چشمی و انواع فن‌های آن بررسی می‌شود. کاربردهای ردیاب‌های چشمی برای اندازه‌گیری خواندن و اصلاح رفتار خواندن، در بخش سوم مورد توجه قرار گرفته است.

سامانه بینایی

دستگاه بینایی یکی از تخصصی‌ترین عضوها در ادراک بشر و یکی از مهم‌ترین حواس پنج‌گانه است. به همین دلیل اعتماد بیشتری به داده‌های آن می‌شود. ادراک فرایندی است که در آن، اطلاعات را از محیط و دنیای اطراف به‌واسطه حس‌هایمان جمع و آنها را تفسیر می‌کنیم. پردازش‌های بینایی سبب توسعه نظریه‌های بسیاری در حوزه روانشناسی شده‌اند (سولسو[1]، ۱۳۸۸). سامانه بینایی انسان با بازشناسی الگو

1. Solso

عمل می‌کند. قابلیت شناسایی اشیاء محیطی را بازشناسی الگو می‌نامند که به‌طور روزمره و ناخودآگاه این فرایند پیچیده انجام می‌شود. در بازشناسی الگو، در وهله نخست باید محرکی وجود داشته باشد که بازخورد ما نسبت به آن رخ دهد. محرک، هر شیء یا چیزی است که در دنیای واقع وجود دارد و انسان سعی در شناسایی آن دارد[۱] (فردنبرگ و سیلورمن[۲]، ۱۳۹۱).

حجم اطلاعات دیداری (از جمله تصاویر و متون نوشتاری) قابل استفاده، بسیار زیاد است و منابع پردازشی آن اندک هستند. انسان تنها می‌تواند طول موج‌های نوری بین ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر از رنگ بنفش تا قرمز را ببیند. با این‌حال برای ردیابی این دامنه، چشم انسان قابلیت‌های خارق‌العاده‌ای دارد. آنچه‌که از طریق چشم دریافت می‌کنیم دانش ما را درباره جهان خارج شکل می‌دهد (Richardson, Dale, & Spivey, 2007).

اساس چگونگی سامانه دیداری انسان بدین صورت است که انرژی فیزیکی بیرونی به‌شکل امواج الکترومغناطیسی از طریق مردمک (بخش تاریک چشم) که گرد آن عنبیه (بخش رنگ‌دانه‌ای چشم) قرار دارد، به چشم وارد می‌شود. مردمک نور را مانند روزنه دوربین عکاسی کم یا زیاد می‌کند. نور از مردمک و از طریق لنزها که نور را منکسر یا متمایل می‌کند گذر کرده و بر شبکیه متمرکز می‌شود. دو نوع سلول گیرنده در چشم وجود دارد، مخروط‌ها که مسئول ردیابی رنگ هستند و میله‌ها که نور سفید و سیاه را ردیابی می‌کنند. حدود ۷ میلیون میله در هر چشم وجود دارد؛ درون این نرون‌های شبکیه، فرایند شگفت‌آور تبدیل امواج الکترومغناطیسی فیزیکی به انرژی الکتروشیمیایی انجام می‌شود که شکلی از انرژی است که در سامانه عصبی عمل می‌کند. چشم انسان تا حدود ۲۰۰ درجه میدان دید دارد. اما اطلاعات جزئی، دقیق و مورد توجه را تنها از ۲ درجه دریافت می‌کند. این ناحیه، کانون (حفره، فرورفتگی)[۳] نامیده می‌شود و حرکات تندی به اطراف دارد[۴] (Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2003). در حد بین ۲۰۰-۳۰۰ میلی‌ثانیه آن در استراحت است. به هر حال، بیش از ۳۰۰۰۰ گیرنده نوری بسته‌بندی

۱.پس از انعکاس نور از شیء، تصویر معکوس محرک روی شبکیه ایجاد می‌شود. شبکیه لایه‌ای از سلول‌های گیرنده بینایی حساس به نور است که قسمت داخلی و پشت کره چشم را می‌پوشاند و تعدادی از پردازش‌های مقدماتی تصویر در آن انجام می‌شود. اطلاعات محرک از طریق یک مجموعه مسیرهای طولی به‌سمت عقب به مناطق بینایی مغزی می‌رسند که در آنجا قسمت اعظم بازشناسی الگو و فرایندهای ادراکی دیگر رخ می‌دهند. درجه بالای هم‌پوشانی بین تصویر محرک بیرونی و الگوی بازنمایی شده درون ذهن فرد، سبب بازشناسی شیء می‌شود.

2. Friedenberg & Silverman
3. Fovea

۴. تا حدود سرعت ۵۰۰ درجه در ثانیه که حساسیتش نزدیک به سطح نابینایی می‌شود.

شده متراکم در حفره فرورفتگی، حس بسیار تیز بینایی رنگ را تأمین می‌کند. حرکات چشم این مجرای اطلاعات را به نسبت مرتبط به جهان هدایت می‌کند و بنابراین اساس عملیات سامانه دیداری است (Richardson, Dale, & Spivey, 2007). احساس‌هایی که به‌وسیله نیمی از هر چشم ردیابی می‌شود به نیمکره مقابل در چلیپای بصری می‌رود. احساس‌هایی که با نیم دیگر یک چشم ردیابی می‌شود به همان نیمکره‌ای می‌رود که در طرف چشمی است که احساس‌ها را ردیابی کرده است (سولسو، ۱۳۸۸).

حرکات چشم

انواع مختلف حرکات چشمی وجود دارند. اساس جستجوی دیداری[1] متشکل از دو جزء است: خیره‌شدن‌ها[2] و حرکات پرشی[3]. پرش‌ها یعنی حرکات سریع و پرتابی که چشم را تقریباً ۳-۴ بار در ثانیه به اطراف میدان دیداری حرکت می‌دهند (Pollatsek, Reichle, & Rayner, 2006). پرش شامل مدت پرش (زاویه دیداری[4])، سرعت پرش به درجه در هر ثانیه و مسیر پرش است. هنگام خواندن، چشم حرکات سریعی به اندازه ۴ یا ۵ بار در هر ثانیه دارد یعنی حرکت از یک خیره‌شدن به بعدی با تمرکز هر باره روی کلمات اندکی (Ellis, 2009). الگوی مکان‌هایی که پرش‌ها مشاهده می‌شود مسیر پیمایش[5] نامیده می‌شود، مدت بین آغاز یک محرک و یک پرش، تأخیر پرش[6] نامیده می‌شود (Reichle, Rayner, Rayner, & Pollatsek, 2003).

دیگر حرکات چشمی، برای حفظ خیره‌شدگی با وجود حرکت سر، بدن یا شیء و تصحیح انحراف و بی‌دقتی ماهیچه به‌کار می‌رود (Pollatsek, Reichle, & Rayner, 2006). خیره‌شدن به‌معنی مدت زمانی است که فرد به‌صورت دیداری هر آنچه از اطلاعاتی که در دامنه کانونی چشم قابل استفاده است را گردآوری و تفسیر می‌کند (تصویر ۱). بسته به فاصله نقطه مورد نظر از چشم، زاویه دیداری به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. ۱/۵ درجه مرکزی از میدان دید، قدرت تفکیک دیداری بسیار بیشتری نسبت به بینایی پیرامونی[7] دارد (Rao, Zelinsky, Hayhoe, & Ballard, 1997 quoted in Ellis, 2009). این ناحیه قابل تفکیک، تنها میدانی است که در آن چشم قادر به تفسیر اطلاعات با تفکیک مناسب نظیر یک کلمه در یک کتاب است. اجزای گوناگون خیره‌شدن چشم عبارتند از مدت[8]، فراوانی[9] و مکانی[10] که آنها

1. Visual search
2. Fixation
3. Saccades
4. visual angle
5. Scan path
6. Saccade Latency
7. Peripheral
8. Duration
9. Frequency

آنها ایجاد می‌شوند (Schotter, Angele, & Rayner, 2012). مقدار زمانی که صرف نگاه به یک مکان خاص می‌شود را مدت خیره‌شدگی [۲] می‌نامند (Richardson, Dale, & Spivey, 2007).

چشم، پیام [۳] (علامت) دیداری را تا هنگام انجام یک پرش به مغز منتقل نمی‌کند. بنابراین یک پرش از هر بار اطلاعاتی که از یک خیره‌شدن به‌دست می‌آید، تشکیل می‌شود و خیره‌شدن بعدی برای مشاهده بیشتر اطلاعات در جای دیگر ضروری هستند. به همین دلیل، روانشناسی تجربی پرش‌ها را هنگام شروع، هنگام فرود آمدن و مدت زمان باقی ماندن آنها اندازه می‌گیرد؛ چرخه ادراک-عمل رفتار پرشی [۴]، منحصراً اطلاعاتی برای روانشناس تجربی (آزمایشگاهی) ایجاد می‌کند (Schotter, Angele, & Rayner, 2012).



تصویر ۱. میدان دید انسان (برگرفته از Tobii Technology AB, 2010)

داده‌های ردیاب چشمی، ثبت نیمه پیوسته‌ای را از ناحیه‌ای از میدان دیداری که به‌طور مختصر با انجام یک تکلیف [۵] (وظیفه) آزمایشی مرتبط هستند، فراهم می‌کند. این داده‌ها در حین پردازش شناختی و همچنین پس از اینکه پردازش کامل می‌شود، قابل استفاده هستند. افزون بر خود فرایند پردازش شناختی، محصول نهایی آن را نیز می‌توان به‌وسیله اطلاعات حرکات چشمی تحلیل کرد. دریافت اطلاعات حرکات چشمی، مانعی برای دریافت همزمان سایر گزارش‌های پردازش شناختی نیست. این امر درجه روایی بوم‌شناختی [۶] انجام آزمایش را بالا می‌برد؛ زیرا آموزش‌های آزمون‌گر و هدف شرکت‌کنندگان کم‌تر می‌تواند بر انجام حرکت چشمی اثرگذار باشد (Richardson, Dale, & Spivey, 2007). توجه به این نکته ضروری است که برخی حساسیت‌های فعال حرکات چشم، به‌وسیله سایر رفتارهای آشکار انسان،

---

1. Location
2. Fixation duration
3. Signal
4. Saccadic behaviour
5. Task
6. Ecological validity

قابل انجام نیست زیرا حرکات چشمی به‌شدت تند و به‌سرعت قابل تصحیح هستند و به‌دلیل آستانه تحریک بسیار کمتر، از نظر سوخت‌وساز در مقایسه با دیگر حرکات مکانیکی[1] ارزان‌تر هستند.

ناگفته نماند که توجه دیداری همواره با موقعیت چشم منطبق نیست (Underwood, 2009). اگر آزمودنی‌ها برای حرکت ندادن چشمانشان آموزش دیده باشند، می‌توانند توجه دیداری خود را از کانون (حفره) تفکیک کنند. البته شواهد رفتاری وجود دارد که توجه مخفی هدایت شده به یک جهت می‌تواند به انحراف در پرش‌های قائم[2] منجر شود و شواهد نوروروانشناسی[3] (Corbetta et al., 1998 quoted in Richardson, Dale, & Spivey, 2007) از ثبت‌های یک سلول پیشنهاد می‌کند که آنها سامانه عصبی همپوشانی را به‌کار می‌برند. به احتمال فراوان توجه فضایی و برنامه پرش[4] در طی حرکت چشمی، بدون محدودیت طبیعی و به‌طور نزدیکی با هم جفت هستند (Underwood, 2009).

به‌طور کلی هنگام دیدن یک صحنه ایستا، چشم‌ها برای ویژگی‌های دیداری محرک و اثر بالا به پایین دانش و انتظارات مانند توجه خفیف به رنگ یک نقاشی و اثر بالا به پایین برای مشاهده‌کننده متخصص و ساده درباره نواحی معنایی مهم نقاشی، تحریک می‌شوند (Underwood, 2009). حرکات چشم لحظه‌به‌لحظه با هدف‌ها و وظایف تابعه به‌طور محکمی مرتبط هستند. بنابراین حرکات چشمی یک فرایند شناختی «شاخص‌گذاری[5]» را آشکار می‌کند که به‌وسیله آن، مکان یک شیء در حافظه کاری نگه داشته می‌شود و دیگر ویژگی‌های محیطی در طی یک تکلیف، بسته به نیاز می‌توانند لحظه‌به‌لحظه «جستجو شوند[6]» (Richardson, Dale, & Spivey, 2007).

دستگاه ردیاب چشمی

دستگاه ردیاب چشمی همانند هر دستاورد دیگر بشری، تاریخچه منحصر به فردی دارد. با مرور وضعیت گذشته و حال حاضر این فناوری، روند رو به رشد استفاده از آن برای محاسبه دقیق و سریع جهت نگاه کردن در انجام پژوهش‌های دقیق و کم‌خطر مشخص می‌شود.

تکنیک‌های ردیاب چشمی اولیه، تماس مکانیکی مستقیم با قرنیه داشتند و در آغاز قرن بیستم نخستین سامانه ردیاب چشمی مبتنی بر انعکاس نور قرنیه ابداع شد (SensoMotoric Instruments, 2014). آن سامانه‌ها تنها موقعیت افقی چشم را که نیازمند ایستایی سر بود، ثبت می‌کردند. چند سال بعد،

1. Motor movements
2. Orthogonal
3. Neuropsychological
4. Saccade planning
5. Indexing
6. Looked up

عکس‌برداری از تصاویر متحرک برای ثبت حرکات چشم در دو بعد به‌کار رفت (Thörnell, 2010). در نیمه نخست قرن بیستم با توسعه روش‌ها، انعکاس قرنیه و تصویر متحرک به شیوه‌های گوناگون با هم ترکیب شدند.

انواع دستگاه‌های ردیاب چشمی

چرخش‌های چشم‌ها به‌وسیله شش ماهیچه که نسبت به سر امکان سه درجه آزادی را می‌دهند کنترل می‌شود؛ قانون داندر[1] بیان می‌دارد که به‌دلیل محدودیت‌های عصبی، تنها یک جهت یکتا برای هر سمت نگاه کردن وجود دارد (Larsson, 2010). در این‌حالت به‌طور مؤثر تنها دو درجه آزادی برای حرکت چشم وجود دارد که این وضعیت مرتبط با مدت و دامنه[2] حرکات چشم است (Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2000). این مقادیر می‌توانند در بررسی‌های مختلف به‌دلیل تفاوت روش‌های ثبت به‌طور معنی‌داری متفاوت باشند. نگرانی خاص در مورد شیوه‌های گردآوری داده‌های چشمی این است که روش‌های مداخله‌گر می‌توانند حرکات و رفتار آزمودنی را تغییر دهند. شیوه‌های ردیاب چشمی به قرار زیر هستند:

الکترواُکولوگِرافی[3]: چشم به‌دلیل میزان سوخت‌وساز بالای شبکیه، تقریباً یک گشتاور دوقطبی در راستای محور بینایی دارد. با قرار دادن الکترودهایی که پتانسیل (توان) الکتریکی اطراف چشم را می‌سنجند، حرکات دو قطب می‌توانند، تعیین شوند (SensoMotoric Instruments, 2014). الکترواُکولوگرافی از نظر شرایط نوری یا پدیداری چشم (حتی چشم می‌تواند بسته باشد) مزیت فراوانی نسبت به روش‌های مبتنی بر دوربین (که فاقد این توانمندی‌ها هستند) دارد. این روش نیازمند الکترودهایی است که روی پوست قرار گیرند؛ همچنین موقعیت سر باید به‌صورت مجزا به‌وسیله یک ردیاب سر، برای اینکه نقطه توجه آزمودنی به‌دست بیاید، ثبت شود. آزمودنی‌ها در این روش تا اندازه‌ای ناراحت هستند. البته به‌نظر می‌رسد در آینده الکترودهایی می‌توانند ساخته شوند که ناخوشایندی کمتری داشته باشند (Larsson, 2010).

سیم‌پیچ کاوشی[4]: این روش در بسیاری از آزمایشگاه‌هایی که نیازمند ثبت دقیق و با بسامد بالا هستند استفاده می‌شود؛ دستگاه شامل حلقه سیم‌پیچی است که به‌وسیله لنزهای تماسی وصل شده به آن در

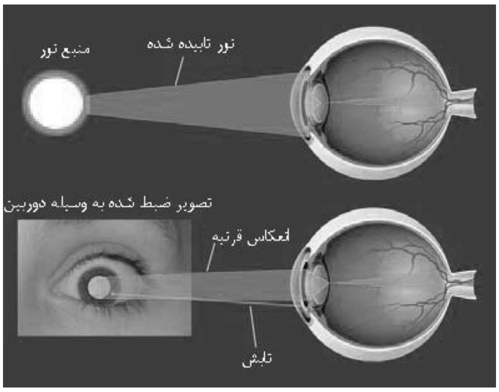
1. Donders' law
2. Amplitude
3. Electrooculography (EOG)
4. Search coil

چشم آزمودنی قرار می‌گیرد (SensoMotoric Instruments, 2014). موضوع آزمون[1] در یک میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد و القاء الکتریکی در سیم برای تعیین موقعیت آن سنجیده می‌شود (Larsson, 2010). این روش بسیار تهاجمی است چون لنزها نه‌تنها قرنیه بلکه همچنین قسمت وسیعی از صلبیه را برای جلوگیری از لغزش یا سرخوردن در برمی‌گیرند (SensoMotoric Instruments, 2014). قرار دادن لنزها در محل خود سخت است و به‌دلیل ناراحتی، صلبیه باید بی‌حس شود. افزون بر مورد پیشین، حلقه‌ها می‌توانند حرکات چشم را تغییر دهند به‌نحوی که پرش‌های کندتر یا طولانی‌تر را ایجاد کنند (Larsson, 2010).

بازتاب‌های مادون قرمز[2]/ ردیاب چشمی ویدئویی[3]/بازتاب مرکب مردمک/قرنیه ویدئویی[4]: رایج‌ترین سامانه مورد استفاده برای ردیاب چشمی، امروزه ردیاب‌های چشمی بازتاب ویدئویی قرنیه[5] هستند (SensoMotoric Instruments, 2014). کشف اینکه انعکاس‌های متعدد چشم می‌توانست چرخش‌های چشم[6] را از حرکات سر[7] مجزا کند، دقت ردیابی را افزایش داد و همچنین زمینه زمینه را برای بسط نتایج همراه با حرکات آزادانه‌تر شرکت‌کنندگان فراهم کرد (Thörnell, 2010). ردیاب‌های ویدئویی، از پردازش تصویر برای محاسبه نقطه توجه[8] بلادرنگ[9] استفاده می‌کنند. دوربین صحنه در میدان دید آزمودنی اجازه می‌دهد که بدون توجه به جا یا چگونگی حرکت آزمودنی، نقطه توجه به تصویر دوربین صحنه اضافه شود. این وضعیت اجازه بازبینی مستقیم پاسخ‌های استخراج شده از حرکات چشم را از زاویه دید خود آزمودنی می‌دهد که اجازه تحلیل توزیع حرکات چشم را برای صحنه دیداری در یک تکلیف آزمایشگاهی می‌دهد (Richardson, Dale, & Spivey, 2007). دوربین‌ها به آسانی می‌توانند برای ردیابی موقعیت چشم استفاده شوند اما برای تعیین نقطه توجه منبع اطلاعاتی دیگری استفاده می‌شود. نور مادون قرمز به چشم آزمودنی هدایت می‌شود تا یک انعکاس روی قرنیه ایجاد کند و مردمک‌ها را قابل تشخیص کند. گردآوری داده‌های حرکات چشم بسته به ماهیت و ساختار فیزیکی چشم‌های مختلف، به دو شیوه گوناگون صورت می‌پذیرد. در شیوه نخست، هر یک از نورهای مادون قرمز، مردمک چشم را درخشان می‌کند که تشخیص آن را برخلاف عنبیه تیره‌تر ممکن می‌سازد؛ در شیوه

1. Test subject
2. Infrared Reflections
3. Video-based Eye Tracking
4. Video-Based Combined Pupil/Corneal Reflection
5. Video-based corneal refelction
6. Eye rotations
7. Head movement
8. Point of regard
9. Real-time

دیگر، عنبیه را برخلاف مردمک روشن می‌کنند که باعث می‌شود مردمک تیره، متمایزتر شود (Larsson, 2010) (تصویر ۲). دو روش مردمک روشن[1] و مردمک تیره[2] و اینکه کدام یک بهتر کار می‌کند می‌تواند می‌تواند بین محیط‌های ثبت و آزمودنی‌ها متفاوت باشد (Duchowski, 2007). انعکاس‌های مختلف قرنیه، تصویرهای پورکنج[3] نامیده می‌شوند و نخستین و پراستفاده‌ترین، انعکاس سطح بیرونی قرنیه است (Blignaut & Wium, 2014). انعکاس قرنیه نسبت به مردمک، شاهدی بر موقعیت کره چشم به‌وسیله یک مدل هندسی است (Duchowski, 2007). این مدل تنها تخمین می‌دهد و با کالیبراسیون[4] (واسنجی، تنظیم) تنظیم می‌شود. در کالیبراسیون، از آزمودنی درخواست می‌شود تا به نقاط مختلف روی صفحه نمایش[5] نگاه کند. هنگامی‌که موقعیت و جهت چشم تعیین می‌شود، نقطه توجه در محل تقاطع محور نوری نوری و صفحه نمایش پیدا می‌شود (Blignaut & Wium, 2014).



تصویر ۲. فن انعکاس قرنیه مرکز مردک[6] (برگرفته از Tobii Technology AB, 2010)

برای ثبت با دقت بالا، رایج است که حرکات سر را از طریق سه پایه چانه یا یک میله قوی نپذیرند (SensoMotoric Instruments, 2014). سامانه‌های تجاری قابل استفاده، اغلب اجازه حرکت سر را به اطراف می‌دهند، از این‌رو انحراف در خیره‌شدن تقریباً ۱/۵ تا ۳ برابر افزایش می‌یابد (Larsson, 2010). دستگاه می‌تواند به میز یا سر آزمودنی نصب شود. برای دستگاه‌های روی میز نیاز است که چشم‌ها ثابت باشند به نحوی‌که موقعیت چشم نسبت به سر و نقطه توجه منطبق/همزمان باشد. دستگاه متصل به سر

1. Bright pupil (BP)
2. Dark pupil (DP)
3. Purkinje
4. Calibration
5. Viewing plane
6. Pupil Centre Corneal Reflection technique (PCCR)

نیازمند سنجش خصوصیات چشمی متعددی به‌منظور روشن ساختن حرکات سر از چرخش چشم هستند (Thörnell, 2010).

استفاده از دوربین در ردیابی چشم به‌دلیل خطر کمتر و بی‌آسیب بودن آن، روش راحتی برای آزمودنی‌ها در انجام آزمایش‌های مختلف است. با این‌حال در این روش برخی خطاها نیز وجود دارد. خطای ثبت داده‌ها می‌تواند به‌دلایل گوناگونی هم‌چون عنبیه خیلی روشن یا خیلی تیره (در برخی ردیاب‌ها)، پلک‌های افتاده به‌صورت طبیعی، مژه‌های به‌سمت پایین آمده که جلوی دید دوربین چشمی را می‌گیرد، تسمه سر نامتناسب با سرشخص یا حتی حرکات سر درست نشدنی در طی فرایند کالیبراسیون باشد. اما قابلیت‌های بالای فناوری ویدئویی ردیاب چشمی باعث شده که انواع ابزارهای ردیابی چشم همانند عینک‌های ردیاب چشمی[1]، به وجود بیایند.

خواندن و ردیابی چشم

ثبت حرکات چشمی در واقع تنها منبع داده‌ای است که نظریه‌های زبان و شناخت انسان را هم‌راستا می‌کند (Richardson, Dale, & Spivey, 2007). پردازش زبان، طیفی از پدیده‌ها یعنی جنبه‌های ادراکی شناسایی کلمه‌ها و جنبه‌های مفهومی فهم استعاره‌ها را شامل می‌شود. حرکات چشم برای هرکدام از این موارد می‌تواند راه‌حل‌ها و نظریاتی را تبیین کند. نمونه واضح پیوند بین حرکات چشم و زبان، در فرایند خواندن صورت می‌گیرد. با استفاده از این روش، چگونگی حرکت چشم افراد هنگام خواندن مشخص می‌شود؛ برای نمونه چشم‌ها در طی خواندن، تقریباً ۲۰۰–۲۵۰ میلی‌ثانیه حالت خیره‌شدن به خود می‌گیرند و پرش‌های بین خیره‌شدن‌ها تا حد ۱ تا ۲ درجه از زاویه دیداری را شامل می‌شود (Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2003). منظور از ۱ تا ۲ درجه زاویه دیداری، فضای دربرگیرنده ۷ تا ۹ حرف/نویسه (علیرغم تفاوت در اندازه متن یا فاصله یکسان) است (Schotter, Angele, & Rayner, 2012). خوانندگان به کلمات محتوایی که به‌طور معمول کاملاً طولانی هستند گرایش بیشتری برای خیره‌شدن دارند اما از کلمه‌های تابعی (عملکردی) که کلاً کوتاه‌تر هستند جست[2] می‌زنند و زود رد می‌شوند (Liversedge & Findlay, 2000).

احتمال اینکه تنها به یک کلمه خیره شویم بستگی به نوع کلمه دارد. در کلمه‌های محتوایی ۸۵ درصد و در کلمه‌های عملکردی (تابعی) ۳۵ درصد این احتمال وجود دارد. طول کلمه نیز بر این امر

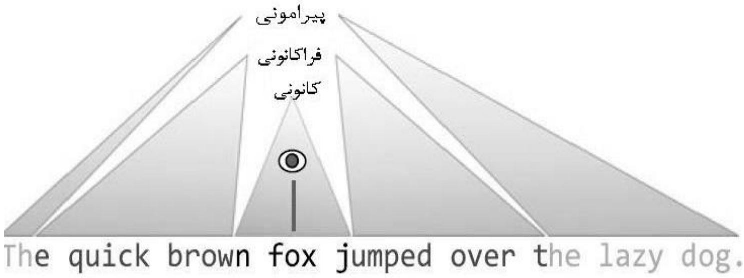
---

۱. قابلیت استفاده در زندگی روزمره و ثبت تمام فعالیت‌های چشمی یک شخص در محیط‌های گوناگون از طریق این عینک‌ها امکان‌پذیر است.

2. Skip

اثرگذار است، برای مثال کلمه‌های ۲ تا ۳ حرفی، ۷۵ درصد احتمال پرش دارند، اما به‌طور تقریبی به کلمه‌های ۸ حرفی همواره خیره می‌شویم (Richardson, Dale, & Spivey, 2007). معمولاً خیره‌شدن‌ها بین ابتدا و مرکز یک کلمه (مکان‌های دید مرجح[1]) می‌نشینند. اما برخی شواهد وجود دارد که پیشنهاد می‌کند که خوانندگان بر جزء‌های اطلاعاتی کلمات (موقعیت دید بهینه[2]) خیره می‌شوند (Liversedge & Findlay, 2000) (تصویر ۳).

هنگامی‌که افراد جمله‌ای را می‌خوانند، خیره‌شدن آنها به‌طور معمول بین ۶۰ و ۵۰۰ میلی‌ثانیه (یعنی تقریباً به‌طور میانگین ۲۵۰ میلی‌ثانیه) طول می‌کشد. حرکت چشم‌های خوانندگان متن انگلیسی در هنگام خواندن نزدیک به ۸۵ درصد دفعات از چپ به راست و ۱۵ درصد از راست به چپ است. پرش‌ها از نظر طول متفاوت هستند. برخی به اندازه تنها یک نویسه می‌باشند در حالی که سایر موارد ممکن است تقریباً به همان اندازه خود جمله (یعنی یک پرش بازگشتی از این سو به آن سو[3] از راست به چپ به‌منظور خیره‌شدن به یک خط جدید از متن) باشند (Liversedge & Findlay, 2000).



تصویر ۳. نواحی کانونی، فراکانونی و پیرامونی خواندن هنگامی‌که سه نویسه یک درجه از زاویه دیداری را درست می‌کنند (نماد چشم و خط کشیده شده بیانگر محل خیره‌شدن است)

(برگرفته از Schotter, Angele, & Rayner, 2012)

افزون بر پیش‌گفته‌ها، عملکرد نحوی و سختی مفهومی متن پیش‌رو نیز حرکات چشمی متفاوتی را سبب می‌شوند. ویژگی‌های حرکات چشم (مانند مدت نگاه کردن، طول پرش، وقوع بازگشت‌ها، و تعدادی از تغییرات در مورد این سنجه‌ها) در هنگام خواندن، برای استنباط فرایند شناختی لحظه‌به‌لحظه یک متن توسط خواننده آن می‌تواند استفاده شود (Reichle, Pollatsek, & Rayner, 2006). با به‌کارگیری تحلیل‌های الگوهای حرکات چشمی، می‌توان جزئیات فرایند شناختی خواندن مانند وضوح و

1. Preferred
2. Optimal
3. A return sweep saccade

هم معرف[1] ضمیر، بسامد کلمه، ابهام واژگانی[2]، ابهام نحوی و به‌علاوه تأثیر بافت معنایی و گفتمان درباره این موارد را به‌دست آورد (Pollatsek, Reichle, & Rayner, 2006). حرکات چشمی، فرایندی متفاوت از گزارش هوشیاری[3] آزمودنی‌ها و عملکرد دستی آنها را مشخص می‌کند (Richardson, Dale, & Spivey, 2007). آزمودنی‌ها، اغلب نگاه مختصری به یک شیء که به‌نظر می‌رسد مرتبط با عمل آنها باشد، دارند سپس چشم‌هایشان را به‌سرعت به‌سمت شیئی که هدف اصلی عملکردشان است بازخیره می‌کنند. این خاصیت برای بررسی عامل‌های حین زمان پردازش گفتار و فهم زبان استفاده می‌شود (Schotter, Angele, & Rayner, 2012).

شمار نویسه‌هایی که یک خواننده می‌تواند روی هر خیره‌شدن شناسایی کند، «محدوده دیداری[4]» و تعداد نویسه‌هایی که یک خواننده حداقل تا اندازه‌ای در طی یک خیره‌شدن پردازش می‌کند، «محدوده ادراکی[5]» نامیده می‌شود (Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2003). محدوده ادراکی در حدود نقطه خیره‌شدن[6] نامتقارن (بی‌تناسب) است و به‌سمت مسیری که در آن خواننده در متن پیش می‌رود، گسترش می‌یابد. برای خوانندگان انگلیسی، محدوده ادراکی در حدود ۴ کاراکتر خیره‌شدن به چپ و ۱۵ کاراکتر به راست است؛ برای زبان‌های راست به چپ محدوده ادراکی در مسیر مخالف جابجا می‌شود (Liversedge & Findlay, 2000). محدوده ادراکی برای دو زبانه‌ها که تعویض محدوده‌شان را هنگام خواندن انگلیسی به راست و هنگام خواندن زبان دیگر (راست به چپ) به چپ جابجا می‌کنند تحت کنترل شناختی است. خوانندگان نه‌تنها متنی را که خیره می‌شوند پردازش می‌کنند، بلکه همچنین متن در راستای خواندن‌شان را پیش پردازش می‌کنند. خوانندگان هنگامی‌که سختی پردازش را تجربه می‌کنند، خیره‌شدن‌های بیشتر و با مدت طولانی‌تری را دارند (Simola, Kivikangas, Kuisma, & Krause, 2013). به‌طور افزوده، هنگامی‌که خوانندگان جمله‌ها را اشتباه تحلیل می‌کنند آنها پرش‌های برگشت‌کننده (کاهنده)[7] (Liversedge & Findlay, 2000) را برای بازخوانی متن به‌منظور دریافت تحلیل مناسب انجام می‌دهند. تصمیم افراد در مورد اینکه به کجای متن خیره شوند و چه زمانی چشم‌ها را در پی یک

1. Co-reference
2. Lexical ambiguity
3. Conscious
4. Visual span
5. Perceptual span
6. Point of fixation
7. Regressive saccades

خیره‌شدن حرکت دهند جنبه‌های «محل[1]» و «زمان[2]» کنترل حرکت چشم (Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2003) را منعکس می‌کند.

چشم‌اندازهای استفاده از ردیاب چشمی در مطالعات خواندن

استفاده از ردیاب چشمی در مطالعات مربوط به خواندن به شیوه‌های گوناگون انجام می‌شود. سه رویکرد اساسی و برخی نگاه‌های جدیدتر درباره این پژوهش‌ها وجود دارند. این نگاه‌های متفاوت و تا حدی هم‌پوشان در این قسمت بررسی می‌شوند.

در دیدگاه نخست، تمرکز بر پردازش دیداری و کنترل حسی حرکتی[3] است (Radach & Kennedy, 2013). از این چشم‌انداز (ادراک و کنترل حرکت)، خواندن به‌عنوان تکلیفی از پردازش دیداری و کنترل حسی-حرکتی که در یک محیط دیداری کاملاً ساختار یافته رخ می‌دهد، دیده می‌شود (Radach & Kennedy, 2004). سازوکارهای پردازش دیداری با عملکردهای مختلف مانند آماده‌سازی پرش، بازشناسایی حرف و/یا کلمه، مسیریابی روی یک صفحه از متن[4] و مواردی از این دست، در این دامنه قرار می‌گیرند (Radach & Kennedy, 2004; Radach & Kennedy, 2013).

دیدگاه دوم، ارتباط بیشتری با علوم شناختی دارد. در این قسمت، خواندن به‌عنوان حوزه‌ای از پردازش اطلاعات (فرایند پیچیده گردآوری اطلاعات) بشری که مشابه با فهم یک صحنه دیداری است، در نظر گرفته می‌شود (Radach & Kennedy, 2013). در این سطح از جستار، سؤال اصلی این است که چگونه سطوح مختلف و مراحل پردازشی از گردآوری اطلاعات حروف از تمام مسیرها تا ساخت (تکوین) یک بازنمون ذهنی از متن در طی زمان آشکار می‌شوند و با یکدیگر تعامل می‌کنند (Radach & Kennedy, 2004; Radach & Kennedy, 2013). علاقه اصلی پژوهشگران این حوزه، بررسی تفاوت در رفتار خواندن براساس چگونگی تفاوت زبانشناختی بین جمله‌ها است (Liversedge & Findlay, 2000). هماهنگی فرایندها، دوره زمانی که آنها آشکار می‌شوند و تعاملشان با سامانه‌های حافظه اصلی در این مجموعه بسیار اهمیت دارند (Radach & Kennedy, 2004). تمرکز اصلی این رویکرد تاکنون بر پردازش

---

1. Where
2. When
3. Sensorimotor

۴. صفحه متنی شامل حروف، کلمه‌ها، خطوط متنی و پاراگراف‌ها می‌شود که سلسله مراتبی از اشیاء دیداری را شکل می‌دهد. به دیگر روی، آرایه‌ای از اطلاعات دیداری که از نظر معنایی نسبت به هر صحنه (منظره) واقع گرایانه‌ای از اشیاء طبیعی کمتر پیچیده است.

در سطح کلمه[۱] بوده (Radach & Kennedy, 2013) که موضوعاتی هم‌چون پردازش پیاپی (ترتیبی) در مقابل موازی (همزمان) اطلاعات زبانشناختی[۲] (Grainger, 2003) در سطح حرف و کلمه، یا پردازش انواع خاصی از اطلاعات در یک مسیر پیمانه‌ای (قسمت‌های کوچک)[۳] یا تعاملی[٤] (Radach & Kennedy, 2004)، و عامل‌های اثرگذار بر شناسایی کلمه، محاسبه روابط ساختاری بین کلمات یک جمله (پردازش نحوی) و فهم معنی یک جمله یا متن کوتاه به‌صورت کلی (پردازش معنی) (Liversedge & Findlay, 2000) را مورد توجه قرار می‌دهد.

راداچ وکندی (Radach & Kennedy, 2013)، در سال ۲۰۰۴ با شناسایی از طریق انتشارات پیشین نشان دادند که دیدگاه سوم به‌عنوان رویکردی برجسته و پربار، از سنجه‌های حرکت چشمی برای توسعه و ارزیابی فرضیه‌های روانشناسی زبان[۵] درباره پردازش زبان نوشتاری استفاده می‌کند. در بیشتر پژوهش‌های این حوزه، سطح پردازش جمله نظیر عامل‌های نحوی، معنایی، عمل‌گرایانه (کاربردی)[٦] و دانش-جهان[۷] آشکار در خواندن، مورد توجه است (Radach & Kennedy, 2004; Radach & Kennedy, 2013). همچنین در این پژوهش‌ها به‌طور فراوانی از سنجه‌های زمانی[۸] مانند مدت خیره‌شدن و نگاه کردن، به‌عنوان به‌عنوان شاخص‌های فعال بار پردازشی و سنجه‌های فضایی[۹] نظیر موقعیت خیره‌شدن و نوسان/دامنه[۱۰] پرش‌ها، به‌عنوان شاخص‌های جهت و توالی پردازش بهره‌برداری می‌شود (Radach & Kennedy, 2004).

برپایه چشم‌اندازهای فوق، مدل‌های[۱۱] کنترل حرکت چشم در خواندن ایجاد و اجرا شده‌اند (Rayner, 2009).

همان‌گونه که پیش از این اشاره شد، برخی رویکردهای جدید نیز در پژوهش‌های حوزه خواندن با استفاده از حرکات چشم وجود دارند. دو رویکرد جدید عبارتند از (Radach & Kennedy, 2013):

---

۱. Word-level processing: اساس تجربی برای بیشتر مدل‌های رایانشی موجود کنترل حرکتی در خواندن.

2. Serial vs. parallel processing of linguistic information
3. Modular
4. Interactive
5. Psycholinguistic
6. Pragmatic
7. World-knowledge
8. Temporal measures
9. Spatial measures
10. Amplitudes

۱۱. مطرح‌ترین مدل‌های کنترل حرکت چشم هنگام خواندن، E-Z Reader (SAS), SWIFT (GAG), Mr. Chips (Ideal Observera), EMMA (SAS within ACT system), Glenmore (GAG within Connectionist System), SERIF (POCb), SHARE (POC Competition/Activation (POC) هستند.

الف) استفاده از روش‌شناسی حرکات چشمی برای مطالعه خواندن در نظام‌های نوشتاری غیر رومی (لاتین): پویایی خواندن در زبان‌های چینی، ژاپنی، کره‌ای و تایلندی در این رویکرد بررسی می‌شوند؛ موضوع این پژوهش‌ها مواردی هم چون پیچیدگی نویسه دیداری[۱]، پردازش زبانشناختی فراکانونی[۲]، تقطیع کلمه[۳] و حتی تحلیل معنایی در این بافت برای فهم میزان فراگیری پردازش اطلاعات در در مقابل زبان و حروف الفبای خاص[٤]، حین خواندن است.

ب) استفاده از تحلیل‌های حرکت چشم برای بررسی پیشرفت و اختلاف (ناپایداری) فردی در مهارت خواندن: تاکنون بیشتر پژوهش‌های این حوزه با استفاده از جوامع عمدتاً با سن دانشگاهی و خوانندگان ماهر انجام شده است. اکنون به‌نظر می‌رسد فرصت‌هایی برای بسط دامنه پژوهش‌ها جهت شمول دورنماهای[٥] نامشخص‌تر و گسترده‌تر در پراکندگی‌های بین و درون فردی خواندن[٦] و پل زدن بین بین شکاف کاربردهای آموزشی و بالینی مهیا شده است.

بین چشم‌اندازهای نظری بحث شده روابط متقابل قوی وجود دارند. برای نمونه، پژوهش حرکتی دیداری می‌تواند قوت‌ها و ضعف‌های روش‌شناختی سنجه‌های حرکت چشم را در پژوهش روانشناسی زبان روشن کند، اما پژوهش همگن از نظر روانشناسی زبان به سؤالاتی (برای نمونه، موضوع پرش‌های برگشت کننده دور برد[۷] راه انداخته شده[۸] به‌وسیله پردازش زبانشناختی سطح بالا) که نیازمند بررسی از طریق ابعاد حرکتی دیداری هستند افزوده‌اند (Radach & Kennedy, 2004).

جنبه‌های مکان و زمان در خواندن با استفاده از ردیابی چشم در پژوهش‌های این حوزه بسیار مورد توجه هستند. بنابراین آشنایی با این دو جنبه و شاخص‌های معرف آنها در کنترل حرکات چشم هنگام خواندن ضروری است.

«کجا»؟

موقعیت خیره‌شدن در هنگام خواندن برپایه کلمه است، یعنی تصمیم برای خیره‌شدن به انتخاب کلمه هدف بستگی دارد (Carreiras, Armstrong, Perea, & Frost, 2014). چاره‌های کمی در جایگزینی این بحث وجود دارد؛ زیرا بیشتر قریب به اتفاق پرش‌ها از کلمه‌ای خاص روی همان کلمه

---

1. Visual character complexity
2. Parafoveal
3. Word segmentation
4. Script specific
5. Landscape
6 Inter- and intraindividual variations of reading
7. Long-range
8. Triggered

دوباره می‌نشیند (باز خیره‌شدن به کلمه N) یا فوراً به کلمه بعدی (N+1) یا کلمه فرای آن (N+2) می‌رود؛ بازگشت بین کلمه‌ها[1]، چشم‌ها را به موقعیت چپ سرحد کلمه جاری می‌آورد که در این‌حالت چشم‌ها به‌طور برجسته روی کلمه‌های N-1 یا N-2 می‌نشیند (Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2003). اینکه کدام کلمه هدف قرار گیرد، عمدتاً به عواملی مثل اطلاعات سطح پایین یعنی طول کلمه و فاصله آغاز پرش و تا حدی عناصر شناختی یعنی بسامد و پیش‌بینی‌پذیری کلمه بستگی دارد (Liversedge & Findlay, 2000). مشخصات دامنه (نوسان) پرشی دقیق[2] مورد نیاز برای چشم به‌سمت هدف منتخب تا اندازه‌ای مستقل از خیره‌شدن به کلمه است. مستنداتی وجود دارند که پرش‌ها (شامل پرش‌های بازخیره‌شدن[3]) به‌سمت مرکز کلمه هدف منتخب صورت می‌گیرند که مبین این واقعیت است که موقعیت‌های نزدیک به مرکز کلمه برای هدف‌گیری پرش‌ها و پردازش کلمه کانونی بهینه‌تر به‌نظر می‌رسند. به‌دلیل محدودیت‌های دیداری حرکتی، باعث تفاوت مشهور بین موقعیت نشستن پرش بهینه و مرجح، چشم به‌طور نظام‌مندی از موقعیت هدف (مرکز کلمه) به هدف دومی که حدود نیمه مسیر بین آغاز و مرکز کلمه هدف بعدی است منحرف می‌شود (Radach & Kennedy, 2004).

«چه زمانی»؟

زمان وقوع[4] یک پرش مشخص یا به‌صورت دقیق‌تر، مدت زمان پردازش رخدادها و تصمیم‌های کنترلی که در طی یک خیره‌شدن اتفاق می‌افتد، سؤال اصلی این قسمت است. سؤال دقیق‌تر و مرتبط‌تر این است که چه اطلاعاتی در داخل این قاب (قاعده) زمانی[5] برای راهنمایی چشم‌ها استفاده می‌شوند (Carreiras, Armstrong, Perea, & Frost, 2014). هیچ شکی وجود ندارد که تصمیم‌های کنترلی می‌تواند بر پایه اطلاعاتی باشد که به‌صورت فعال[6] طی خیره‌شدن مداوم به دست می‌آید.

هنگامی‌که مانع بافتی برحسب ارتباط (تداعی معانی) کلمه موضعی (محلی)[7] یا بافت کلی‌تر (سراسری‌تر)[8] خیلی قوی باشد، اطلاعات زودتر کسب شده از متن می‌تواند بر سنجه‌های زمان دیدن[9] تأثیرات مهمی داشته باشند (Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2003). یک راه عام تعیین میزان قوت[10]

1. Interword regressions
2. Precise saccadic amplitude
3. Refixation saccades
4. Triggered
5. Time frame
6. Online
7. Local word associations
8. More global context
9. Viewing
10. Strength

مانع بافتی، از طریق سنجه‌های پیش‌بینی‌پذیری کلمه بعدی بر پایه تمام کلمه‌های پیشین در یک جمله یا یک عبارت طولانی‌تر از متن، است (Radach & Kennedy, 2004).

با توجه به پیش‌گفته‌ها درباره مکان و زمان حرکات چشمی در هنگام خواندن، سنجه‌های فراوانی برای حرکات چشمی بر این اساس ایجاد شده‌اند. این سنجه‌ها می‌تواند برای تحلیل داده‌های چشمی خواندن استفاده شوند.

تعریف‌های رایج‌ترین سنجه‌های حرکات چشمی فضایی مورد استفاده برای کلمات در جدول ذیل آمده است (Radach & Kennedy, 2004).

جدول ۱. سنجه‌های حرکات فضایی چشم (برگرفته از Radach & Kennedy, 2004)

عامل	تعریف
دامنه پرش، اندازه پرش، وسعت (حد) پرش	فاصله در موقعیت‌های کاراتر، بین موقعیت/محل دو خیره‌شدن متواتر (متوالی)
احتمال خیره‌شدن، سنجه معکوس: نرخ جست زدن (skipping)	فراوانی نسبی اینکه یک کلمه حداقل یک‌بار خیره شود؛ سنجه معکوس: فراوانی جستن از کلمات
موقعیت خیره‌شدن، مکان خیره‌شدن	محلی در یک کلمه (در نویسه‌ها) که یک خیره‌شدن قرار می‌گیرد، فضای خالی بین کلمات به‌صورت صفر کدگذاری می‌شود.
فاصله شروع، موقعیت شروع.	فاصله نویسه‌ها بین موقعیت خیره‌شدن قبلی و آغاز (یا مرکز) کلمه کنونی
فراوانی خیره‌شدن	میانگین تعداد کامل خیره‌شدن‌ها به هر کلمه برای مسیر کنونی (به‌صورت نخست، دوم و غیره. در مواجهه با متن مشخص شده تعریف می‌شوند)
احتمال باز خیره‌شدن/ فراوانی	فراوانی نسبی ایجاد حداقل یک خیره‌شدن اضافی قبل از ترک/رها کردن یک کلمه

رایج‌ترین عامل‌های حرکات چشمی زمانی مورد استفاده برای کلمات در جدول ۲ تعریف شده‌اند (Radach & Kennedy, 2004).

جدول ۲. سنجه‌های حرکات زمانی چشم (برگرفته از Radach & Kennedy, 2004)

عامل	تعریف
مدت خیره‌شدن اولیه/ نخستین	مدت نخستین خیره‌شدن به یک کلمه صرف‌نظر از اینکه خیره‌شدن‌های بیشتری در پی است.
مدت باز خیره‌شدن	مجموع مدت خیره‌شدن‌های اضافی در مسیر جاری قبل از خروج از کلمه
مدت چشم دوختن (Gaze duration)	مجموع مدت تمام خیره‌شدن‌ها قبل از ترک کلمه (در میسر جاری)
زمان باز خواندن	مجموع مدت تمام خیره‌شدن‌های ایجاد شده پس از ترک کلمه برای نخستین بار
زمان خواندن کلی، زمان کل خیره‌شدن	مجموع مدت تمام خیره‌شدن‌های ایجاد شده به سمت کلمه حیاتی/شاخص

تأثیرات زبانشناختی هنگام خواندن

مسائل زبان‌شناسی و روان‌شناختی همزمان بر ادراک از نوشته‌ها اثرگذار هستند. دریافت معنا، نحو به‌کار رفته در متن، کلمات عامه و مسائلی از این دست در ادراک متن بسیار مهم هستند. به‌طور کلی در پژوهش‌های ردیاب چشمی دو نوع تأثیر زبان‌شناختی شناسایی شده است، تأثیرات زبانشناختی سطح پایین[۱] پایین[۱] و تأثیرات زبانشناختی سطح بالا[۲].

تأثیرات زبانشناختی سطح پایین:

تأثیرات زبان‌شناختی سطح پایین بر واژگان و مسائل پیرامونی آنها هم چون املاء، طول و سختی کلمه تأکید دارد. حجم قابل توجهی از پژوهش‌های حرکت چشمی، پردازش واژگانی (شناسایی کلمه)[۳] را بررسی می‌کنند. مدت خیره شدن روی یک کلمه با خصوصیات واژگانی اصلی آن مانند بسامد و طول تغییر می‌کند. خیره شدن به کلمات با بسامد کم‌تر نسبت به کلمات با بسامد بالاتر، مدت طولانی‌تری است؛ در عین حال، طولانی‌تر بودن یک کلمه به احتمال بیشتر خواننده را مجبور به خیره شدن مجدد می‌کند که در عمل مدت نگاه کردن زیادتری را ایجاد می‌کند (Liversedge & Findlay, 2000).

تأثیرات زبانشناختی سطح بالا

ثبت حرکات چشمی برای جمله‌های مبهم نحوی با جمله‌های یکسان اما نامبهم، تفاوت‌هایی را نشان می‌دهد. از این طریق تحلیل اشتباه نحوی از قسمت مبهم یک جمله منعکس می‌شود. هنگامی‌که آزمودنی‌ها در ابتدا تحلیل اشتباهی از یک جمله به‌صورت نحوی انجام می‌دهند آنها می‌گویند که فریفته[۴] فریفته[۴] شده‌اند (Liversedge & Findlay, 2000). عامل‌های زبانشناختی مانند بافت جمله و مباحثه[۵] می‌توانند تقدم در پردازش را تعدیل کنند و خوانندگان اغلب قادر به استفاده از نشانه‌های بافتی[۶] برای هدایت تفسیر اولیه‌شان از یک جمله باشند. داده‌های حرکت چشم همچنین برای بررسی جنبه‌های پردازش معنایی استفاده می‌شوند. برای اینکه خوانندگان به فهم کاملی از یک جمله برسند آنها باید پیشایندهای عبارت مورد مراجعه را تعیین کنند و به نحوی استنباط کنند که جمله با مباحث پیشین دارای ارتباط منطقی باشد. اثبات شده که هر کدام از این فرایندها بر حرکات چشم اثر دارند (Liversedge & Findlay, 2000).

1. Lower level
2. Higher level
3. lexical processing (word identification)
4. garden-pathed
5. sentential and discourse context
6. contextual cue

انگاره‌های کلی در مورد مسیر خواندن

همان‌گونه که بیان شد یکی از حواس پرکاربرد انسان در هنگام مطالعه، بینایی است. چشم به‌واسطه عملکرد دیداری انسان، بخش عمده‌ای از ادراک وی از محیط اطراف را سبب می‌شود. آگاهی از حرکات چشم و نوع تعاملات دیداری انسان در هنگام خواندن می‌تواند بر نوع چیدمان متن و چگونگی برداشت مناسب از آن برای خوانندگان مختلف مفید باشد. در رابطه با اینکه چه انگاره‌هایی در خواندن متن برای انسان مورد توجه هستند، پژوهش‌ها و فرض‌های بسیاری طرح شده‌اند. با این‌حال توافق جامعی در این رابطه وجود ندارد.

مدل نظری تحلیل نمادشناسی[۱] ترکیبی کرس و ون لیوون (Kress and Van Leeuwen (1996: 183ff) in (Holsanova, 2006) سه جزء به هم مرتبط دارد: مقدار و ساختار اطلاعات[۲]، برجستگی[۳] و پیکره[۴].

ساختار اطلاعات فضای نمادشناسی سه بعد مجزا را به‌همراه دارد: بعد عمودی[۵]، بعد افقی[۶] و بعد مرکز-پیرامون[۷]. در بعد عمودی، اطلاعات کلی در بالا پیدا می‌شود و به‌تدریج به اطلاعات خاص در پایین پایین تغییر می‌کند. بعد افقی اطلاعات معلوم[۸] را در سمت چپ و اطلاعات جدید[۹] را در سمت راست دارد. بعد سوم برای ساختاردهی به اطلاعات می‌تواند دیده شود زیرا راهی است برای سازماندهی اطلاعات با قراردادن اطلاعات مهم در مرکز و اطلاعات کم ارزش‌تر در خارج از موقعیت مرکزی. لیکن این بعد مرکز-پیرامون می‌تواند همچنین به‌عنوان پیوند مداخله کننده (واسط) بین دو بعد دیگر عمل کند.

دومین جزء با میزان برجستگی واحدهای نمادی[۱۰] گوناگون بررسی می‌شود. عامل‌های درگیر در برجستگی عبارتند از پیش‌نمایی-پس‌نمایی[۱۱]، اندازه نسبی، تباین در مقدار آهنگ صدا[۱۲] یا رنگ و تفاوت‌های در دقت کانون (مرکز توجه)[۱۳].

1. semiotics of composition
2. information value and structure
3. salience
4. framing
5. vertical dimension
6. horizontal dimension
7. dimension of the centre–periphery
8. given
9. new
10. semiotic units
11. foregrounding–backgrounding
12. contrasts in tonal value
13. focus

سومین جزء، پیکره است و شامل خط‌های قاب‌بندی[۱]، خط‌های تقسیم‌بندی[۲] و خط‌های ارتباطی[۳] بین واحدهای نمادی است. این دو جزء آخر به طرح‌بندی انتشار و مخصوصاً واحدهای غیرکلامی و فرامتن[٤]ها مربوط می‌شوند.

با توجه به اجزاء بالا، پنداشته‌های کلی برای شیوه نگاه کردن افراد هنگام خواندن قابل استخراج است:

۱. خوانندگان، اطلاعات جدید را ترجیح می‌دهند و انتظار دارند که آن را در سمت راست فضای نمادی ببینند[٥].

۲. خوانندگان، اطلاعات کلی‌تر را در بالا و اطلاعات خاص‌تر را در پایین فضای نمادی ترجیح می‌دهند.

۳. خوانندگان، اطلاعات مهم‌تر را در مرکز صفحه و اطلاعات کم ارزش‌تر را در پیرامون آن جستجو می‌کنند.

۴. خوانندگان، عناصر برجسته گرافیکی را جستجو می‌کنند.

۵. خوانندگان، فرامتن‌ها را جستجو می‌کنند.

۶. خوانندگان، عناصر مرتبط به هم را با قاب‌بندی ابزارهایی مانند خط‌ها و پیکان‌ها پیگیری می‌کنند.

۷. خوانندگان، قبل از نگاه دقیق‌تر به واحدهای خاصی، فضای نمادی[٦] را پیمایش می‌کنند.

از نظر کرس و ون لیوون پذیرفتنی‌ترین مسیر خواندن هنگامی است که «آغاز با نگاه کلی به یک عکس باشد و سپس شروع جدید از چپ به راست، از سرصفحه به عکس باشد پس از آن به‌صورت انتخابی خوانندگان به سوی بدنه متن شفاهی (کلامی) پیش بروند».

نتیجه

رایج‌ترین رفتار انسان شاید حرکات چشم او باشد. به عقیده بسیاری از پژوهشگران حوزه علوم شناختی، چشم پنجره‌ای به‌سوی پردازش شناختی و ادراکی جهان بیرون است. ویژگی‌های خاص حرکات چشم، انجام تحلیل‌های گوناگون را به‌صورت نظری و عملی فراهم کرده است. در دهه‌های گذشته مزیت‌های این حرکات اثبات شده است. حرکات چشم به‌صورت بینظیری بین ادراک و شناخت قرار

1. framing lines
2. dividing lines
3. connecting lines
4. paratexts

۵. برای زبان‌های راست به چپ برعکس است.

6. semiotic space

می‌گیرد (Richardson, Dale, & Spivey, 2007). چنین حرکاتی برای عملکرد پویشی[1]، نمی‌تواند تنها به‌صورت تصادفی رخ دهد. بنابراین برای سودمندی ادراک باید مجموعه‌ای از عناصر مرتبط با حرکات چشم یعنی حافظه، انتظارات و اهداف موجود زنده[2] در نظر گرفته شوند. به همین دلیل حرکت‌های چشمی بین ویژگی‌های ادراکی پایین به بالای[3] جهان و فرایندهای شناختی بالا به پایین[4] (Ellis, 2009; Richardson, Dale, & Spivey, 2007) به‌طور مساوی رانده[5] می‌شود.

اینکه فرد چه زمانی و کجا تصمیم به توجه داشته باشد نکته کلیدی کنترل حرکات چشم است. از این‌رو رابطه بین این دو عامل[6]، فهم کامل فرایندهای شناختی مبتنی بر حرکات چشم را امکان‌پذیر می‌سازد. استفاده از پردازش‌های دیداری برای بررسی پردازش‌های زبان شفاهی رو به توسعه است و این امر نشان می‌دهد که از طریق حرکات چشم می‌توان فرایندهای شناختی بیشتری را مورد بررسی قرار داد.

به‌طور عمده، دو کاربرد پژوهشی ردیاب چشمی در طی قرن بیستم توسعه یافتند: حرکات چشمی در خواندن و حرکات چشمی در مهندسی استفاده‌پذیری (مطالعه تعامل کاربران با محصولات برای بهبود طراحی) (Thörnell, 2010). استفاده از ردیاب چشمی، مسیر مطالعات را برای بررسی حرکات چشم‌ها و محل نگاه کردن آنها یعنی نقطه مورد نظر/توجه[7] هموار کرد. حرکت‌های چشمی، نمایانگر بلادرنگ فعالیت‌های ذهنی هستند که استفاده از روش ردیاب چشمی را بر دیگر روش‌ها مرجح می‌سازند.

در یک ثبت حرکت چشمی، مجموعه‌ای از خیره‌شدن‌ها و پرش‌ها وجود دارند. خیره‌شدن‌ها باعث استخراج اطلاعات دیداری و پرش‌ها برای پردازش آنها و جابجا کردن نقطه توجه توسط آزمودنی به‌کار می‌روند. به‌طور واضح، ثبت حرکت چشم می‌تواند اطلاعات مهمی را درباره درک زبان نوشتاری و شفاهی فراهم کند. به‌نظر می‌رسد که اساس درک زبان نوشتار به‌صورت کلمه به کلمه است و اطلاعات شنیداری و دیداری به‌سرعت یکپارچه می‌شوند. برخی مسائل در هنگام خواندن متن اثرگذار هستند و باعث توجه خواننده به متن می‌شوند. بنابراین هنگام طراحی یک اثر نوشتاری برای درک بیشتر خوانندگان باید برخی مسائل هم چون رنگ[8]، تصویر[9]، موقعیت[10] (Holmqvist & Wartenberg, 2005)، اندازه[1] و

1. Scan
2. Organism's memories, expectations and goals
3. Bottom-up
4. Top-down
5. Driven
۶. «محل» و «زمان» حرکت چشم از نظر روانشناسی و فیزیکی از هم مجزا هستند.
7. Point of regard
8. Colour
9. Pictures
10. Position

و نوع قلم[۲] متن (Beymer, Russell, & Orton, 2008) را در نظر گرفت. همچنین انتخاب طرح حروف[۳] یا میزان فضای سفید صفحه (Holmqvist & Wartenberg, 2005) عامل‌های اثرگذار بر توجه به خواندن هستند. افزون بر ویژگی‌های ظاهری کلمات، سختی آنها و پیچیدگی ساختار معنایی و نحوی جملات بر نگاه خوانندگان متن اثر ویژه‌ای دارند. همین تفاوت‌ها سبب شده است که چشم‌اندازهای مختلفی با استفاده از ردیاب چشمی برای خواندن ایجاد شود.

شایان ذکر است که ردیاب چشمی مانند هر روش ارزیابی دیگری، نیاز به برخی تمهیدات دارد. در صورت عدم توجه به برخی نکات حین استفاده از ردیاب چشمی، نتایج به‌دست آمده از اعتبار و ارزش لازم برخوردار نیستند. به همین دلیل باید عواملی هم چون تجربه پیشین آزمودنی در اجرای وظیفه‌ای مشخص، تفاوت‌های فیزیکی و مسائل مرتبط با چشم افراد (مانند چشم‌های آبی در مقابل قهوه‌ای)، وضعیت محیطی (مانند لرزش‌ها و تلاطم‌ها) و نور و شرایط برگزاری آزمایش را به‌دقت کنترل و زیر نظر گرفت. با این وضعیت می‌توان آزمایش‌های ردیاب چشمی مناسب و علمی را برای توسعه مفاهیم و نظریه‌های علمی در حوزه خواندن با توجه به رویکردهای پیشین انجام داد. ضرورت انجام چنین پژوهش‌هایی هنگامی مشخص می‌شود که تاکنون بررسی خاصی با استفاده از ردیاب چشمی روی نحوه خواندن فارسی زبانان صورت نگرفته است و خلاء آن کاملاً احساس می‌شود. الگوی زبان فارسی و پیچیدگی‌های خاص آن، زمینه‌ساز طراحی و انجام پژوهش‌های نوین و کارآمدی در حوزه خواندن با استفاده از ردیاب چشمی است که می‌تواند مورد توجه پژوهشگران حوزه خواندن، روانشناسی زبان و علوم شناختی (حرکات چشمی) قرار گیرد.

کتابنامه

سولسو، ر. ا. (۱۳۸۸). *روان‌شناسی شناختی*. (ف. ماهر، مترجم) (ویرایش دوم.). تهران: رشد.

فردنبرگ، ج.، و سیلورمن، گ. (۱۳۹۱). *علوم شناختی، مقدمه‌ای بر مطالعه ذهن*. (م. افتاده حال، م. مهرورزی، ز. س. قریشی، آ. خرمی، س. صابری، ت. بنی رستم، ... ا. سعادتی، مترجمان). تهران: موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی، مرکز آینده‌پژوهی علوم و فناوری دفاعی.

Beymer, D., Russell, D., & Orton, P. (2008). An Eye Tracking Study of How Font Size and Type Influence Online Reading. In *Proceedings of the 22Nd British HCI Group Annual Conference on People and Computers: Culture, Creativity, Interaction -*

1. Size
2. Font type
3. Typeface

Volume 2 (pp. 15–18). Swinton, UK, UK: British Computer Society. Retrieved from http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1531826.1531831

Blignaut, P., & Wium, D. (2014). Eye-tracking data quality as affected by ethnicity and experimental design. *Behavior Research Methods*, *46*(1), 67–80. http://doi.org/10.3758/s13428-013-0343-0

Carreiras, M., Armstrong, B. C., Perea, M., & Frost, R. (2014). The what, when, where, and how of visual word recognition. *Trends in Cognitive Sciences*, *18*(2), 90–98. http://doi.org/10.1016/j.tics.2013.11.005

Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology: theory and practice* (2nd ed). London: Springer.

Ellis, K. (2009, January 1). *Eye tracking metrics for workload estimation in flight deck operations* (Master of Science). University of Iowa. Retrieved from http://ir.uiowa.edu/etd/288

Grainger, J. (2003). Moving eyes and reading words: How can a computational model combine the two. In J. Hyönä, R. Radach, & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye cognitive and applied aspects of eye movement research* (pp. 457–470). Amsterdam: Elsevier Science.

Holmqvist, K., & Wartenberg, C. (2005). The role of local design factors for newspaper reading behaviour–an eye-tracking perspective. *Lund University Cognitive Studies*, *127*, 1–21.

Holsanova, J. (2006). Entry points and reading paths on newspaper spreads: comparing a semiotic analysis with eye-tracking measurements. *Visual Communication*, *5*(1), 65–93. http://doi.org/10.1177/1470357206061005

Larsson, G. (2010). *Evaluation Methodology of Eye Movement Classification Algorithms* (Master of Science). Royal Institute of Technology School of Computer Science and Communication, Stockholm, Sweden.

Liversedge, S. P., & Findlay, J. M. (2000). Saccadic eye movements and cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(1), 6–14.

Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2006). Tests of the E-Z Reader model: Exploring the interface between cognition and eye-movement control. *Cognitive Psychology*, *52*(1), 1–56. http://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2005.06.001

Radach, R., & Kennedy, A. (2004). Theoretical perspectives on eye movements in reading: Past controversies, current issues, and an agenda for future research. *European Journal of Cognitive Psychology*, *16*(1-2), 3–26. http://doi.org/10.1080/09541440340000295

Radach, R., & Kennedy, A. (2013). Eye movements in reading: Some theoretical context. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *66*(3), 429–452. http://doi.org/10.1080/17470218.2012.750676

Rayner, K. (2009). Eye movements in reading: Models and data. *Journal of Eye Movement Research*, *2*(5), 1–10.

Reichle, E. D., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2006). E–Z Reader: A cognitive-control, serial-attention model of eye-movement behavior during reading. *Cognitive Systems Researc*h, *7*(1), 4–22. http://doi.org/10.1016/j.cogsys.2005.07.002

Reichle, E. D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2003). The EZ Reader model of eye-movement control in reading: Comparisons to other models. *Behavioral and Brain Sciences*, *26*(04), 445–526.

Reichle, R., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2000). Comparing the EZ reader model to other models of eye movement control in reading. Retrieved from http://cogprints.org/1169/

Richardson, D. C., Dale, R., & Spivey, M. J. (2007). Eye movements in language and cognition. In M. Gonzalez-Marquez (Ed.), *Methods in cognitive linguistics* (pp. 323–344). Amsterdam; Philadelphia: John Benjamins Pub.

Schotter, E. R., Angele, B., & Rayner, K. (2012). Parafoveal processing in reading. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *74*(1), 5–35. http://doi.org/10.3758/s13414-011-0219-2

SensoMotoric Instruments. (2014, March). iView X^{TM} System Manual: version 2.8. SMI.

Simola, J., Kivikangas, M., Kuisma, J., & Krause, C. M. (2013). Attention and Memory for Newspaper Advertisements: Effects of Ad-Editorial Congruency and Location: Ad-editorial congruency and location effects. *Applied Cognitive Psychology*, *27*(4), 429–442. http://doi.org/10.1002/acp.2918

Thörnell, E. E. (2010). *Relation between hazard perception and visual behaviour*. Report UPTEC STS10. Retrieved from http://www.utn.uu.se/sts/cms/filarea/1002_Th%C3%B6rnell.pdf

Tobii Technology AB. (2010, January 27). Tobii Eye Tracking White Paper: An introduction to eye tracking and Tobii Eye Trackers [Commercial]. Retrieved September 2, 2015, from http://www.tobii.com/eye-tracking-research/global/library/white-papers/tobii-eye-tracking-white-paper/

Underwood, G. (2009). Cognitive Processes in Eye Guidance: Algorithms for Attention in Image Processing. *Cognitive Computation*, *1*(1), 64–76. http://doi.org/10.1007/s12559-008-9002-7